

## О ВОЗМОЖНОСТИ МОДИФИКАЦИИ ТРИГГЕРА ПЕРВОГО УРОВНЯ МЮОННОЙ СИСТЕМЫ УСТАНОВКИ CDF В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ СВЕТИМОСТИ ТЭВАТРОНА

*А. Артиков<sup>1</sup>, Г. Члачидзе<sup>2</sup>, Д. Чохели<sup>2,3</sup>*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

*К. Бромберг*

Университет штата Мичиган, США

Увеличение светимости тэватрона Фермилаб до  $\geq 2,0 \cdot 10^{32} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  наряду с ограничением частоты триггеров первого уровня (L1) вызвало ужесточение условий отбора событий на установке CDF II, что, в частности, привело к исключению из мюонного триггера L1 информации от детекторов мюонной системы в области псевдобыстрот  $1 < |\eta| < 1,25$ . Предложен и исследован новый мюонный триггер, включающий сигналы с дополнительного слоя сцинтилляционных счетчиков в указанном  $\eta$ -интервале. Модифицированный мюонный триггер L1 обеспечит приемлемый для CDF II темп — менее 1 кГц.

The increased up to  $\geq 2.0 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  FNAL Tevatron luminosity along with the Level 1 (L1) trigger rate hardware limitation led to the toughened event selection criteria on the CDF II which, in particular, led to the removal from muon trigger L1 of data of the muon system detectors in the  $1 < |\eta| < 1.25$  region. A new muon trigger with an additional layer of the scintillation counters in the above region was proposed and investigated. The modified muon trigger L1 provides an acceptable for the CDF II rate below 1 kHz.

PACS: 29.20.Dh; 29.40.Mc

### ВВЕДЕНИЕ

Идентификация и регистрация мюонов на установке CDF II является одним из принципиально необходимых условий в исследованиях по физике  $c$ -,  $b$ -,  $t$ -кварков, проверке СМ, поиску частиц Хиггса и явлений за пределами СМ и т. д. [1].

В данной статье рассматривается возможность включения в триггер первого уровня детекторов так называемой передней мюонной системы (IMU<sup>4</sup>) в области псевдобыстрот

---

<sup>1</sup>Также ЯФЛ Самаркандского государственного университета, Узбекистан.

<sup>2</sup>Также ИФВЭИ Тбилисского государственного университета, Грузия.

<sup>3</sup>E-mail: chokheli@fnal.gov

<sup>4</sup>IMU — Intermediate Muon Upgrade.

$1 < |\eta| < 1,25$ , удаленных из триггера из-за ужесточения на установке CDF условий отбора событий, связанных с повышением светимости тэватрона, а также из-за существующих ограничений на скорость обработки триггера.

С целью лучшего подавления фона при отборе событий предлагается установить дополнительный слой мюонных сцинтилляционных счетчиков SSU<sup>1</sup> в вышеуказанной области. Для оценки эффективности отбора событий модернизированным триггером были созданы и испытаны шесть тестовых сцинтилляционных счетчиков-прототипов, пять из которых интегрированы в состав установки CDF и в систему сбора данных.

### 1. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ДЕТЕКТОРОВ МЮОННОЙ СИСТЕМЫ IMU

Система IMU, появившаяся после модернизации установки CDF II, увеличила область покрытия для инклюзивного мюонного триггера почти на 50 %, обеспечивая детектирование мюонов с  $p_T \geq 3$  ГэВ в области псевдобыстрот  $1 < |\eta| < 1,5$ . Она состоит из дрейфовых камер BMU и мюонных сцинтилляционных счетчиков BSU и TSU (рис. 1 и 2)<sup>2</sup>.

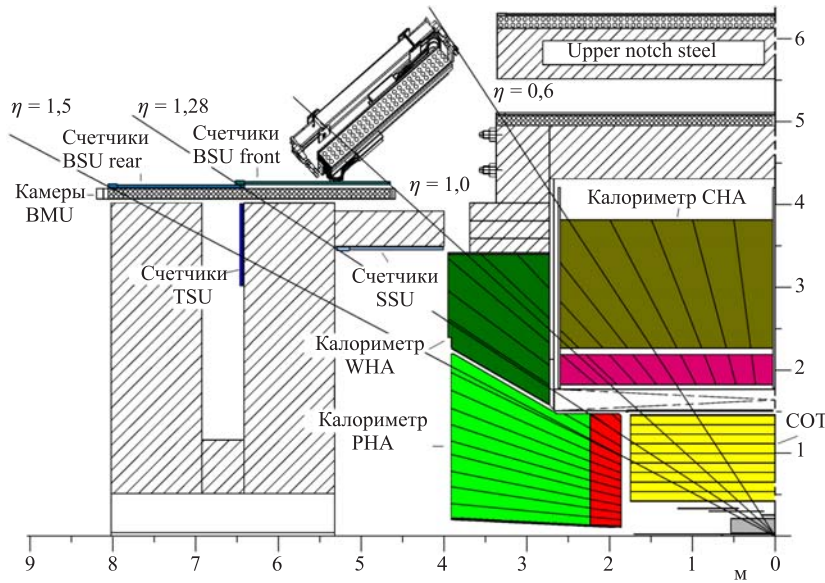


Рис. 1. Расположение детекторов системы IMU, а также других детекторов установки CDF, задействованных в триггере L1 IMU

Дрейфовые камеры BMU в четыре слоя расположены на внешней (параллельно  $p\bar{p}$ -пучкам) стороне тороида старого магнита, используемого в сеансе Run II в качестве пассивной защиты. Над дрейфовыми камерами BMU расположены следующие друг за

<sup>1</sup>SSU — Snout Scintillator Upgrade.

<sup>2</sup>BMU — Barrel Muon Upgrade chambers; BSU — Barrel Scintillator Upgrade; TSU — Toroid Scintillator Upgrade.

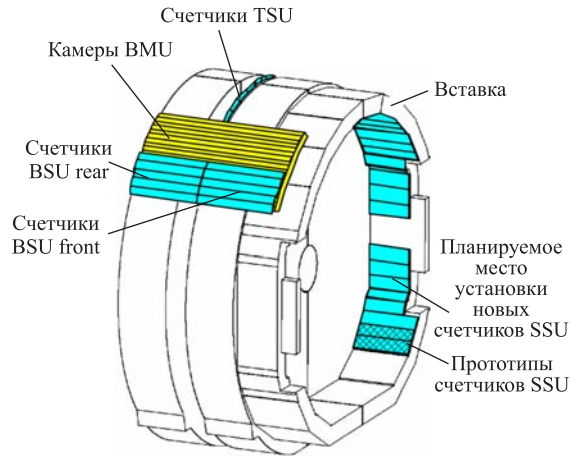


Рис. 2. Расположение детекторов системы IMU и предполагаемое место установки дополнительного слоя мюонных сцинтилляционных счетчиков SSU

другом по длине тороида два кольца изготовленных в ОИЯИ [2, 3] счетчиков BSU. Ближнее (front BSU —  $BSU_F$ ) к центру установки кольцо покрывает область  $1,0 < |\eta| < 1,25$ ,  $\Delta\varphi = 270^\circ$ , а дальнее (gear BSU —  $BSU_R$ ) — область  $1,25 < |\eta| < 1,5$ ,  $\Delta\varphi = 270^\circ$  (рис. 1), где  $\varphi$  — азимутальный угол в применяемой на CDF системе координат [1]. В плоскости, перпендикулярной линии  $p\bar{p}$ -пучков, во внутренней средней части тороида по кольцу расположены счетчики TSU, они имеют трапециевидальное сечение и покрывают область псевдобыстрот  $1,25 < |\eta| < 1,5$ . Таким образом, счетчики TSU совместно со счетчиками  $BSU_R$  образуют два слоя сцинтилляционных детекторов, между ними находится половина длины дрейфовых камер BMU. Другая половина камер покрыта только одним слоем сцинтилляционных счетчиков  $BSU_F$  (рис. 1, 2).

## 2. ТРИГГЕР ПЕРВОГО УРОВНЯ ДЛЯ МЮОННОЙ СИСТЕМЫ IMU, ДЕЙСТВОВАВШИЙ ДО ФЕВРАЛЯ 2006 Г.

Триггер первого уровня передней мюонной системы (IMU триггер L1) «геометрически» разделен на две части: ближнюю ( $1,0 < |\eta| < 1,25$ ) и дальнюю ( $1,25 < |\eta| < 1,5$ ) — в соответствии с расположением колец счетчиков BSU относительно центра установки CDF II. Триггер включает информацию от составляющих систему IMU детекторов, то есть счетчиков  $BSU_F$ ,  $BSU_R$ , TSU и камер BMU, а также информацию от других детекторов установки CDF II [4] (рис. 1).

Совпадение сигналов детекторов передней мюонной системы в области  $1,0 < |\eta| < 1,25$  с сигналом от центральной трековой системы CDF II, обеспечиваемое экстраполятором XTRP, являлось обязательным критерием для отбора событий до февраля 2006 г. XTRP «протягивает» на камеры BMU треки, обнаруженные экстремально быстрым тре-

кером XFT<sup>1</sup>. Для триггера в области  $1,25 < |\eta| < 1,5$  использовалось совпадение сигналов с двух слоев сцинтилляционных счетчиков (BSU и TSU) с сигналами от камер BMU.

Информация, приходящая от системы адронного тактирования<sup>2</sup>, также использовалась для подтверждения, что мюон прилетел из зоны столкновений  $p\bar{p}$ -пучков, т.е. из центра установки. При этом для ближней части триггера IMU использовалась информация с адронного калориметра WHA, а для дальней части — комбинация информации калориметров WHA и PHA.

Таким образом, IMU триггер L1 до февраля 2006 г. состоял из совпадений сигналов вышеперечисленных детекторов [4]:

$L1_F = BSU_F \& BMU \& XTRP \& WHA$  — для области  $1,0 < |\eta| < 1,25$  и

$L1_R = BSU_R \& TSU \& BMU \& (WHA + PHA)$  — для области  $1,25 < |\eta| < 1,5$ .

С указанными условиями частота срабатывания триггеров  $L1_F$  и  $L1_R$  не превышала 200 и 300 Гц соответственно (при светимости  $1,0 \cdot 10^{32} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , октябрь 2005 г.), при этом суммарная частота была ниже допустимого предела для IMU триггера L1 — 1 кГц [1].

Отметим, в наборном сеансе на CDF в то время использовались около 50 различных триггеров первого уровня, одним из которых являлся исследуемый мюонный триггер L1 в области  $1,0 < |\eta| < 1,25$  [5].

### 3. ИЗМЕНЕНИЕ УСЛОВИЙ ОТБОРА СОБЫТИЙ В ОБЛАСТИ IMU ПОСЛЕ ФЕВРАЛЯ 2006 Г.

Постепенное увеличение светимости тэватрона привело в феврале 2006 г. к необходимости ужесточить условия отбора событий на установке CDF II. В частности, для определения трека быстрым триггером XFT обязательным условием стало совпадение сигналов всех четырех суперслоев COT, что ограничило область покрытия по псевдобыстроте данным детектором до  $|\eta| \leq 1$  и привело к исключению COT (а следовательно, XTRP) из триггера  $L1_F$  (рис. 1).

Исключение XTRP привело к чрезмерному увеличению частоты срабатывания для «модифицированного» таким образом триггера  $L1_{F1} = BSU_F \& BMU \& WHA$  — более 1 кГц при светимости  $2 \cdot 10^{32} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Триггер  $L1_{F1}$  ( $1 < |\eta| < 1,25$ ) был исключен из списка триггеров первого уровня CDF II из-за существующих ограничений на темп записи для электроники, формирующей триггер. Как видно из табл. 1, были полностью исключены все ранее применявшиеся триггеры, отвечающие за область псевдобыстрот  $1,0 < |\eta| < 1,25$  [5, 6].

Следует отметить, что благодаря использованию двух слоев сцинтилляционных счетчиков ( $BSU_R$  и TSU) частота срабатывания для триггера  $L1_R$  осталась на приемлемом уровне в 400 Гц при светимости  $2 \cdot 10^{32} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

<sup>1</sup>Экстремально быстрый трекер XFT (Extremely Fast Tracker) — специальный триггер — до февраля 2006 г. для области  $1,0 < |\eta| < 1,25$  формировался с требованием обязательного совпадения сигналов с первых трех суперслоев центральной дрейфовой камеры COT (Central Outer Tracker) [1].

<sup>2</sup>Система адронного тактирования (Hadron Timing System) обеспечивает информацией о времени пролета минимально-ионизирующей частицы через адронный калориметр, в нашем случае это PHA (Plug Hadronic Calorimeter) и WHA (Wall Hadronic Calorimeter) [1].

Таблица 1. Триггеры уровней L1 и L2 для подсистемы IMU, использовавшиеся до и после февраля 2006 г.

Таблица триггеров PHYSICS_3.09_v-1 на февраль 2006 г.	Таблица триггеров PHYSICS_4.01_v-2 на январь 2007 г.
L1_BMU10_BSU_PT8_v-1 (3) L1_BMU10_BSUR_TSUO_&_CLC_v-1 (2) L2_BMU10_BSU_PT15_DPS_v-1 L2_BMU10_BSU_PT8_&_TRK5_v-1 L2_CJET15_&_BMU10_PT11_L1_BMU10_BSU_PT8_v-1 L2_CJET15_L1_BMU10_BSUR_TSUO_v-5 L2_TAU4_PT5_&_L1_BMU10_BSUR_TSUO_v-1	L1_BMU10_BSUR_TSUO_&_CLC_LUMI_190 [1]  L2_CJET15_L1_BMU10_BSUR_TSUO_v-5 L2_TAU4_PT5_&_L1_BMU10_BSUR_TSUO_v-14

С учетом этого обстоятельства нами было предложено установить дополнительный слой сцинтиляционных счетчиков SSU в области псевдобыстрот  $1,0 < |\eta| < 1,25$  внутри выступа тороида, как показано на рис. 1 и 2. Причем один счетчик SSU перекрывается с одним счетчиком BSU<sub>F</sub> по углу  $\varphi$  и псевдобыстроте  $\eta$ . Ожидается, что предлагаемый триггер L1<sub>F2</sub> = BSU<sub>F</sub> & SSU & BMU & WHA совместно с триггером L1<sub>R</sub> поможет удержать частоту срабатывания IMU триггера L1 на приемлемом уровне — менее 1 кГц при светимости  $L = 2 \cdot 10^{32} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Для проверки этого предположения мы расположили в указанном месте на установке CDF пять прототипов счетчиков SSU.

#### 4. КОНСТРУКЦИЯ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ СЧЕТЧИКОВ SSU

Прототипы счетчиков SSU имеют аналогичную конструкцию и такой же оптоволоконный съем света со сцинтиллятора, как и счетчики BSU [2, 3]. Для минимизирования материальных затрат и времени создания прототипов новых счетчиков использованы существующие запасные счетчики BSU.

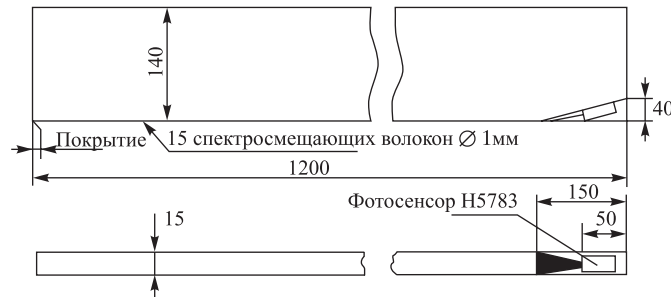


Рис. 3. Прототип счетчика SSU (размеры даны в мм)

На рис. 3 приведены прототипы счетчиков SSU, изготовление которых производилось уменьшением размеров счетчиков BSU.

Для этого очень осторожно снимался кожух крепления фотоумножителя (ФЭУ) и сам ФЭУ, чтобы не повредить спектросмещающие волокна. После этого счетчик помещали

на токарный станок, уменьшали его размеры сначала по ширине, а затем по длине, предварительно зафиксировав место приклейки оптоволоконной ленты к сцинтилляционной пластине. Поверхности срезов были отполированы.

Таблица 2. Результаты измерения светосбора со светоотражающим покрытием на дальнем от ФЭУ конце оптоволоконной ленты и без него

Счетчик	Дальний от ФЭУ конец	Светосбор с дальнего от ФЭУ конца, ф.э.	Отношение зазеркален/зачернен
SSU01	Зачернен	18,5	1,8
	Зазеркален	33,0	
SSU03	Зачернен	23,0	1,6
	Зазеркален	37,6	

На дальний от ФЭУ конец оптоволоконной ленты эпоксидным клеем приклеивался светоотражатель. Учитывая небольшую длину счетчика (120 см), в качестве светоотражателя применили алюминиевую фольгу. Этот простой способ увеличил светосбор с дальнего конца более чем на 60 % (табл. 2).

Далее мы последовательно восстанавливали светоотражающую и светонепроницаемую оболочки счетчика. Устанавливали ФЭУ и кожух крепления для ФЭУ и электроники.

## 5. ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ПРОТОТИПОВ

Измерены основные параметры прототипов. На первом этапе определялось плато напряжения счетчиков. Затем измерялся светосбор с дальнего от ФЭУ конца счетчиков.



Рис. 4. Блок-схема установки для исследования основных параметров прототипов счетчиков SSU

Использовался ранее созданный нами стенд [7]. Блок-схема измерительной установки показана на рис. 4. Исследования по светосбору для прототипов SSU проводились на космических мюонах, которые отбирались с помощью телескопа из четырех  $15 \times 15 \times 2$  см

сцинтилляционных счетчиков. Сигнал от телескопа использовался для пуска зарядово-цифрового преобразователя (ЗЦП) LeCroy ADC 2249W, а также для определения напряжения плато. Сигнал с фотосенсора H5783 (на основе ФЭУ R5600) усиливался на 20 дБ быстрым усилителем LeCroy 612 с целью получения однофотоэлектронных спектров, необходимых для калибровки спектрометрического канала. Для увеличения динамического диапазона при измерениях спектров от космических мюонов применялся ослабитель.

Спектрометрический канал калибровался с помощью быстрого голубого светодиода (MICHIA NSPB310A). Основная идея метода калибровки заключается в развертывании спектров с малым количеством фотоэлектронов на выходе с помощью реалистической функции отклика фотоумножителя. Подробности использования этого метода для ФЭУ с традиционной структурой рассмотрены в работах [8, 9], а описание использования метода калибровки спектрометрического канала с использованием ФЭУ R5600 дается в работах [3, 10].

Таблица 3. Основные параметры прототипов счетчиков SSU

Счетчик	Напряжение плато, В	Порог, мВ	Темновой шум, Гц	Темновой ток, нА	Светосбор с дальнего от ФЭУ конца, ф. э.
SSU01	740	3	72	0,2	27,6
SSU02	710	3	125	0,3	33,0
SSU03	890	3	135	0,3	20,8
SSU04	730	3	78	0,3	37,6
SSU05	850	3	130	0,2	18,7
SSU06	770	3	130	0,3	26,4

Результаты измерений приведены в табл. 2 и 3. В табл. 2 представлены результаты измерения светосбора для двух счетчиков SSU со светоотражателем и без него на дальнем от фотоумножителя конце оптоволоконной ленты. В табл. 3 приведены основные параметры счетчиков, которые были установлены на канал для дальнейших исследований.

После установки на тороид (рис. 1, 2) счетчики SSU были подключены к системе сбора и записи данных CDF.

## 6. ИНТЕГРИРОВАНИЕ СЧЕТЧИКОВ SSU В УСТАНОВКУ CDF

Расположение прототипов счетчиков SSU на CDF показано на рис. 2. Такой выбор их расположения обусловлен перекрытием по  $\eta$  со счетчиками  $BSU_F$  и простотой установки именно в этом месте. В связи с особенностями геометрического разбиения на 12 секторов по азимутальному углу  $\varphi$  передней мюонной системы и организацией триггера на основе этих секторов, а также необходимостью перекрыть один сектор счетчиков  $BSU_F$  мы установили пять счетчиков SSU [1]. Геометрически прототипы перекрывают угол  $317,5 < \varphi < 330^\circ$  по азимуту и лежат в одиннадцатом секторе; при этом один счетчик SSU, как и счетчик  $BSU$ , покрывает  $2,5^\circ$ . Конец счетчика с ФЭУ находится дальше от центра установки.

На рис. 5 представлен поперечный срез тороида, показывающий расположение камер ВМУ и счетчиков BSU, TSU и SSU.

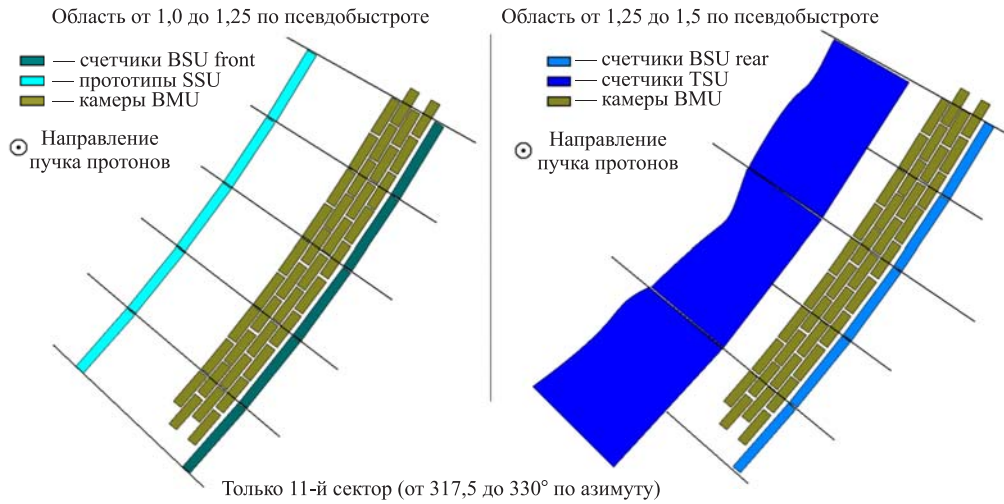


Рис. 5. Схема расположения камер ВМУ и счетчиков BSU, TSU и SSU на установке CDF

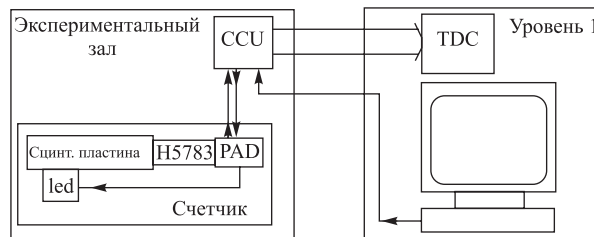


Рис. 6. Схема подачи напряжения и съема информации для счетчиков SSU

Подключение прототипов к системам подачи высокого напряжения, съема информации и контроля производилось по той же схеме, как и для счетчиков BSU (рис. 6) [11]. Питание подается на счетчики от распределителя высокого напряжения и приемника сигналов CCU [12] с помощью RJ-45 кабелей. Этим же кабелем снимается ECL-сигнал с предусилителя. Для обеспечения одинаковых времен задержек по всему тракту были выбраны кабели той же длины, что и для счетчиков BSU.

## 7. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для оценки ожидаемого эффекта от включения счетчиков SSU в триггер нами обработаны записанные на CDF II «сырые» (так называемый a-stream [1, 13–15]) данные, накопленные на протяжении сеансов набора в течение трех месяцев (май–июль 2005 г.).



На основе 904 252 собранных событий протон-антипротонных взаимодействий проведена оценка количества срабатываний следующих триггеров, составленных из комбинаций детекторов, расположенных в одном секторе в области  $1,0 < |\eta| < 1,5$  (рис. 5):

$ISU_F = BSU_F \& SSU;$	$1,0 <  \eta  < 1,25$
$ISU_R = BSU_R \& TSU;$	$1,25 <  \eta  < 1,5$
$ISU_{F,d50} = BSU_F \& SSU \& ( \Delta T  =  T_{SSU} - T_{BSU_F}  < 50 \text{ нс})^1;$	$1,0 <  \eta  < 1,25$
$ISU_{R,d50} = BSU_R \& TSU \& ( \Delta T  =  T_{TSU} - T_{BSU_R}  < 50 \text{ нс})^1;$	$1,25 <  \eta  < 1,5$
$BMU = [BMU0 \& BMU2 \& ( \Delta T_{02}  < 50 \text{ нс})] \&$ $\& [BMU1 \& BMU3 \& ( \Delta T_{13}  < 50 \text{ нс})]^2;$	$1,0 <  \eta  < 1,5$
$BSU_R \& BMU;$	$1,25 <  \eta  < 1,5$
$MUON_F = BSU_F \& BMU;$	$1,0 <  \eta  < 1,25$
$MUON_R = BSU_R \& TSU \& BMU;$	$1,25 <  \eta  < 1,5$
$NEW_F = BSU_F \& SSU \& BMU;$	$1,0 <  \eta  < 1,25$
$NEW_{F,d50} = BSU_F \& SSU \&$ $\& ( \Delta T  =  T_{SSU} - T_{BSU_F}  < 50 \text{ нс}) \& BMU^1;$	$1,0 <  \eta  < 1,25$
$MUON_{R,d50} = BSU_R \& TSU \&$ $\& ( \Delta T  =  T_{TSU} - T_{BSU_R}  < 50 \text{ нс}) \& BMU^1.$	$1,25 <  \eta  < 1,5$

На рис. 7 приведено распределение срабатываний на общее количество триггеров для счетчиков BSU, SSU и TSU, а также распределение времен прихода сигналов с этих счетчиков с момента вхождения в установку CDF протонов и антипротонов.

Добавление второго слоя счетчиков (SSU) уменьшает число событий от 286 766 для случая одного слоя счетчиков ( $BSU_F$ ) до 7192 для триггера  $ISU_F = BSU_F \& SSU$  (табл. 4). Простое усиление этого триггера отсечением всех сигналов, не удовлетворяющих требованию  $|\Delta T| = |T_{SSU} - T_{BSU_F}| < 50 \text{ нс}$  для каждой пары счетчиков, вызывает дополнительное уменьшение числа событий с 7192 до 557 для триггера  $ISU_{F,d50}$ .

На рис. 8 показано распределение событий для каждой пары счетчиков (SSU,  $BSU_F$  и TSU,  $BSU_R$ ), времен прихода событий для счетчиков SSU, TSU,  $BSU_F$  и  $BSU_R$  и разности времен прихода событий  $\Delta T = (T_{SSU} - T_{BSU_F})$  и  $\Delta T = (T_{TSU} - T_{BSU_R})$ , отобранных с помощью триггеров  $ISU_{F,d50}$  и  $ISU_{R,d50}$ .

Заметно резкое выделение пиков для счетчиков SSU ( $\sim 157 \text{ нс}$ ) и для счетчиков  $BSU_F$  ( $\sim 160 \text{ нс}$ ) от начала отсчета. На рис. 9 показано распределение времен прихода событий для счетчиков  $BSU_F$ , соответствующих мюонам от распада  $Z$ -бозона  $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$  [4]. Отметим: среднее значение положения пика на рис. 9 равно 159 нс, что совпадает с полученными значениями времен прихода событий для счетчиков  $BSU_F$  и SSU (рис. 8). Разница между средними значениями пиков составляет около 2,4 нс. Учитывая, что время пролета от счетчика SSU до счетчика  $BSU_F$  для мюона, летящего

<sup>1</sup>  $\Delta T$  — разность времени прихода сигнала на счетчики SSU и BSU. Максимальное время распространения светового сигнала в счетчике BSU составляет менее 8 нс, поэтому можно предположить, что при наложении ограничения на разность времен прихода сигналов менее 50 нс обрезаются в основном только фоновые события. Время обрезания на уровне 50 нс было выбрано по аналогии с камерами BMU [4].

<sup>2</sup> Здесь  $BMU_N$  —  $N$ -й слой камер от центра установки;  $\Delta T_{02}$  — разность времен прихода для нулевого и второго слоев;  $\Delta T_{13}$  — разность времен прихода для первого и третьего слоев. Обоснование выбора такой конфигурации триггера для камер BMU подробно освещено в работе [4].

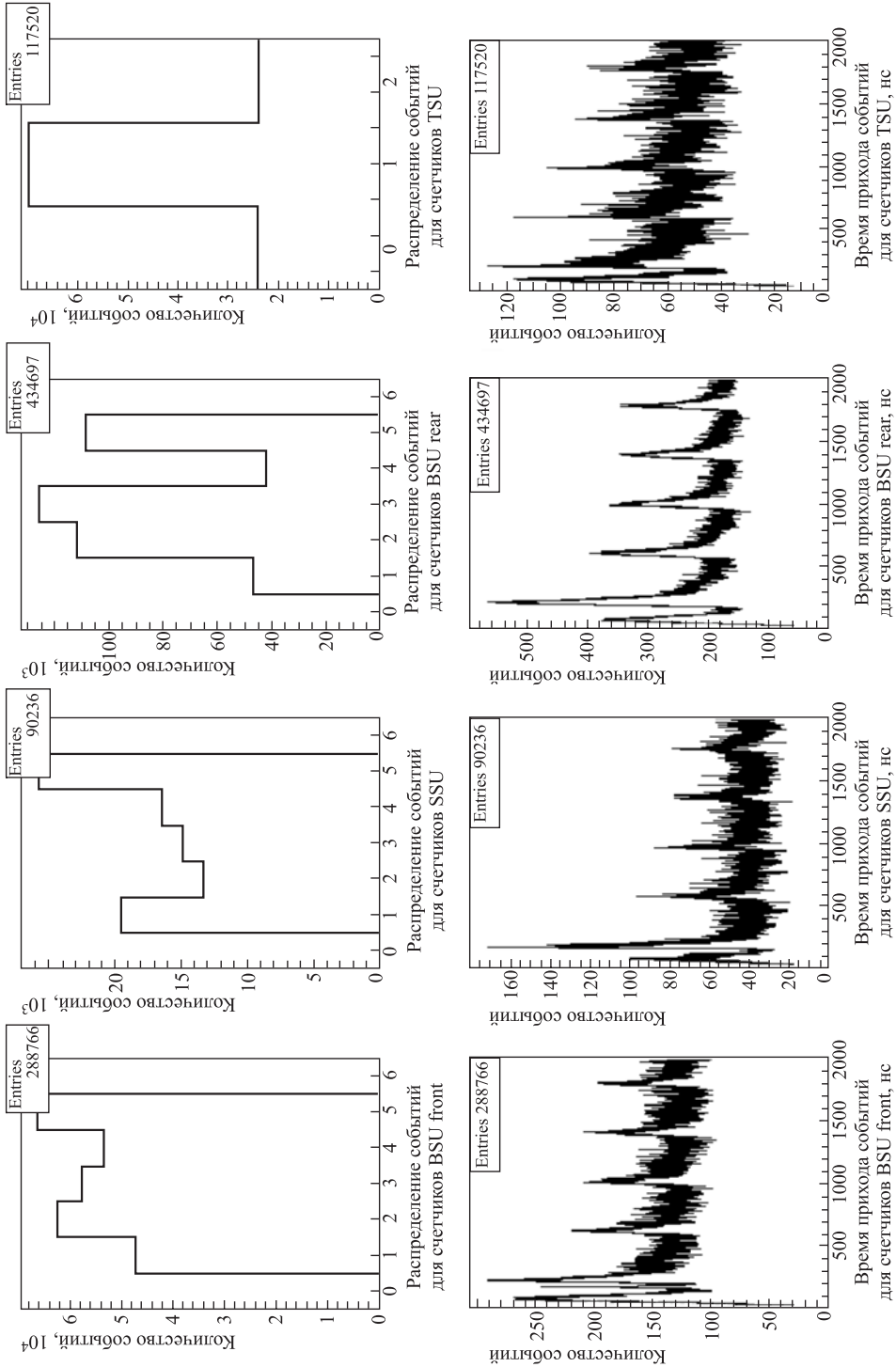


Рис. 7. Распределение событий для счетчиков BSU, SSU, TSU и распределение времен прихода этих событий

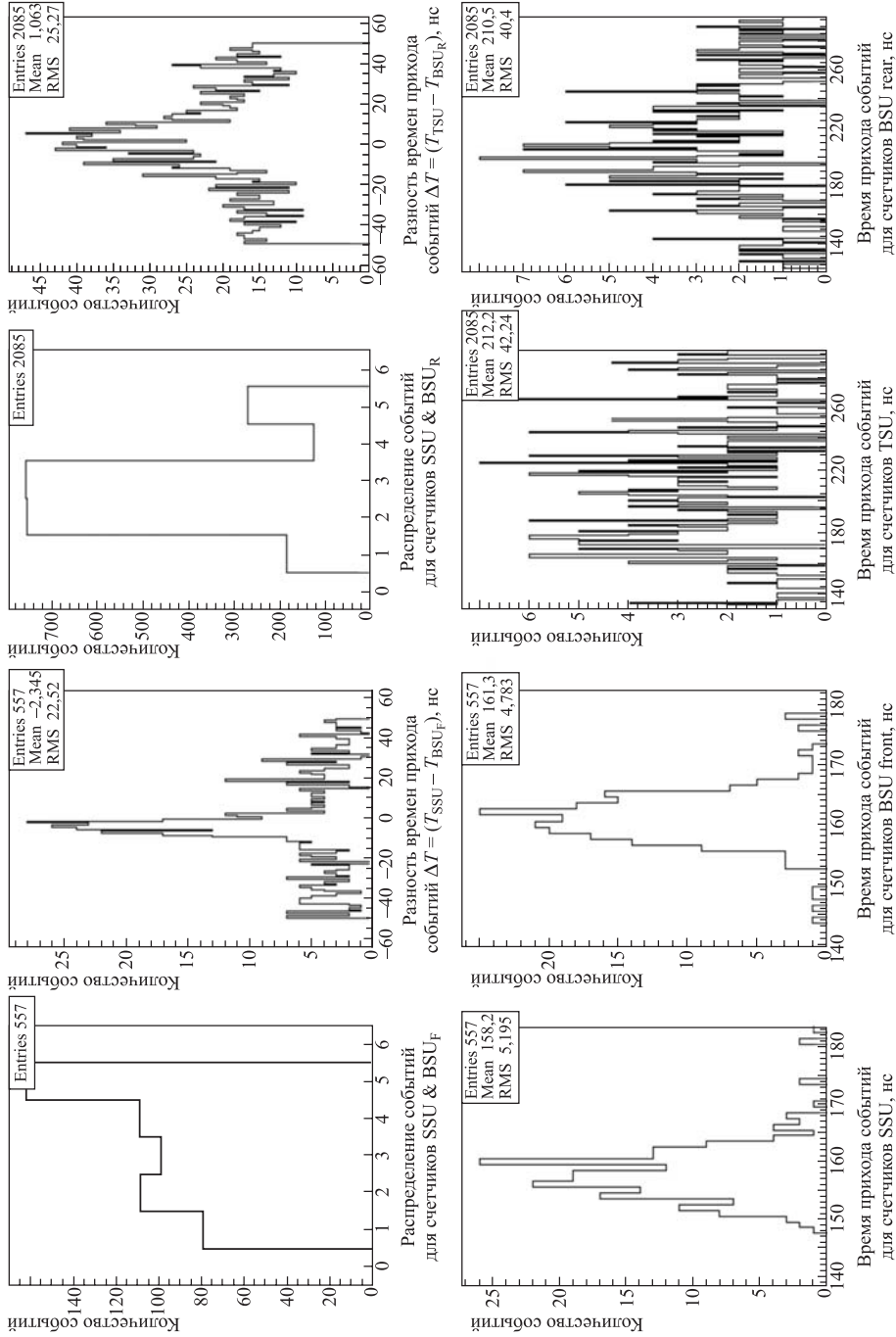
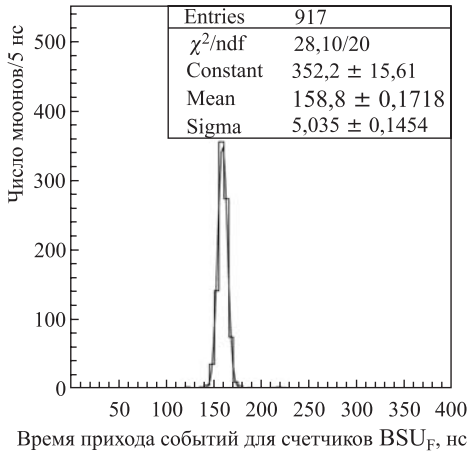


Рис. 8. Распределение событий для каждой пары счетчиков (SSU & BSU<sub>F</sub> и TSU & BSU<sub>R</sub>), времен прихода событий для счетчиков SSU, TSU, BSU<sub>F</sub> и BSU<sub>R</sub> и разности времен прихода событий  $\Delta T = (T_{SSU} - T_{BSU_F})$  и  $\Delta T = (T_{TSU} - T_{BSU_R})$ , отобранных триггерами ISU<sub>F, A50</sub> и ISU<sub>R, A50</sub>

Таблица 4. Сводные результаты для триггеров с разными комбинациями детекторов

Тип триггера	Кол-во
BSU <sub>F</sub>	286 766
BSU <sub>R</sub>	434 697
SSU	90 238
TSU	117 520
ISU <sub>F</sub> = BSU <sub>F</sub> & SSU;	7 192
ISU <sub>F,d50</sub> = BSU <sub>F</sub> & SSU & ( $ \Delta T  =  T_{SSU} - T_{BSU_F}  < 50$ нс);	557
ISU <sub>R</sub> = BSU <sub>R</sub> & TSU;	30 116
ISU <sub>R,d50</sub> = BSU <sub>R</sub> & TSU & ( $ \Delta T  =  T_{TSU} - T_{BSU_R}  < 50$ нс);	2 085
BMU = [BMU0 & BMU2 & ( $ \Delta T_{02}  < 50$ нс)] & [BMU1 & BMU3 & ( $ \Delta T_{13}  < 50$ нс)];	3 676
BSU <sub>R</sub> & BMU;	1 164
MUON <sub>F</sub> = BSU <sub>F</sub> & BMU;	541
MUON <sub>R</sub> = BSU <sub>R</sub> & TSU & BMU;	134
MUON <sub>R,d50</sub> = BSU <sub>R</sub> & TSU & ( $ \Delta T  =  T_{TSU} - T_{BSU_R}  < 50$ нс) & BMU	35
NEW <sub>F</sub> = BSU <sub>F</sub> & SSU & BMU;	145
NEW <sub>F,d50</sub> = BSU <sub>F</sub> & SSU & ( $ \Delta T  =  T_{SSU} - T_{BSU_F}  < 50$ нс) & BMU;	92

Рис. 9. Распределение времен прихода событий для счетчиков BSU<sub>F</sub>, соответствующих мюонам от распадов  $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$  [4]

из центра  $p\bar{p}$ -столкновений, должно составлять 2–3 нс (см. рис. 2, расстояние между счетчиками составляет около 60 см или 2 нс, а по треку от центра столкновений оно составляет около 80 см или 2,7 нс), можно предположить, что в данных пиках содержатся события с мюонами, прилетевшими от центра установки CDF.

В области IMU  $1,25 < |\eta| < 1,5$  количество событий тоже резко падает с 434 697 событий (только для счетчиков BSU<sub>R</sub>) до 30 116 событий для триггера ISU<sub>R</sub> = BSU<sub>R</sub> & TSU и до 2 085 событий для триггера ISU<sub>R,d50</sub> (табл. 4). Следует отметить, что явного выделения мюонных пиков, как в предыдущем случае, не наблюдается. Мы полагаем, что на распределение событий в этой области сильно влияет гало частиц, сопровождающее входящий на установку CDF протонный пучок [16].

На рис. 10 показано распределение событий для счетчиков BSU<sub>F</sub> и BSU<sub>R</sub> и времен прихода событий для счетчиков TSU, BSU<sub>F</sub> и BSU<sub>R</sub>, отобранных с помощью триггеров MUON<sub>F</sub> и MUON<sub>R</sub>, а также распределение разности времен прихода событий  $\Delta T = (T_{TSU} - T_{BSU_R})$ , отобранных триггером MUON<sub>R</sub>. Необходимо отметить, что данные триггера являются полными аналогами «чисто» мюонных частей действовавшего до февраля 2006 г. IMU триггера L1. Количество отобранных триггером MUON<sub>F</sub> событий практически равно количеству событий, ото-

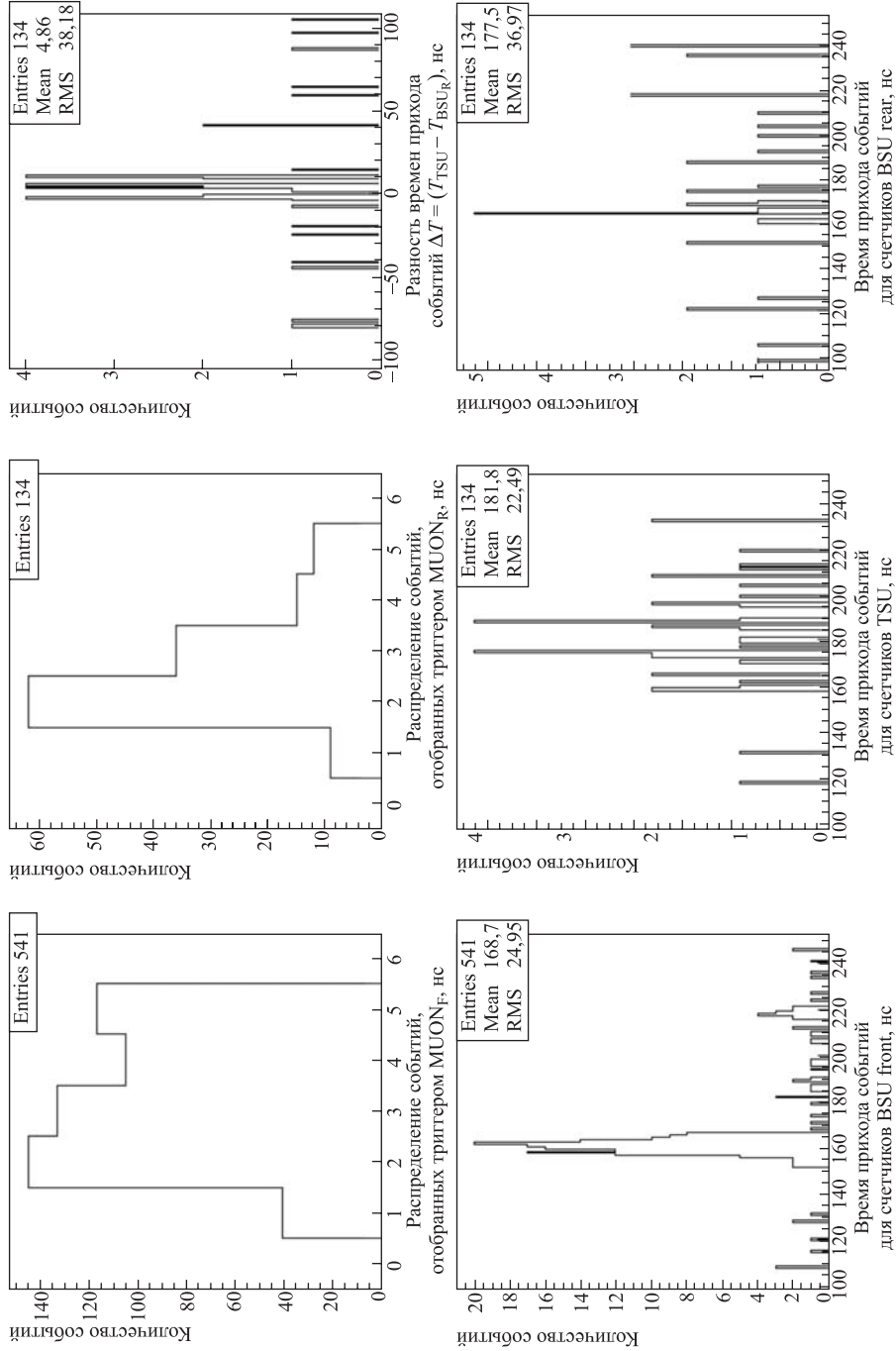


Рис. 10. Распределение событий для счетчиков BSU<sub>F</sub> и BSU<sub>R</sub>, времен прихода событий для счетчиков TSU, BSU<sub>F</sub> и BSU<sub>R</sub>, отобранных триггерами MUON<sub>F</sub> и MUON<sub>R</sub>, а также разности времен прихода событий  $\Delta T = (T_{TSU} - T_{BSU_R})$ , отобранных триггером MUON<sub>R</sub>

бранных «сцинтиляционным» триггером  $ISU_{F\_d50}$  (541 и 557 событий соответственно, табл.4). Мюонный пик в распределении времен прихода сигналов для счетчиков  $BSU_F$  выделяется также хорошо и находится в той же области, что и в случае с триггером  $ISU_{F\_d50}$ . Т.е. триггер с двумя слоями сцинтиляционных счетчиков сравним с неиспользуемым ныне мюонным триггером для области  $1,0 < |\eta| < 1,25$ , включающим один слой сцинтиляционных счетчиков и четыре слоя дрейфовых камер.

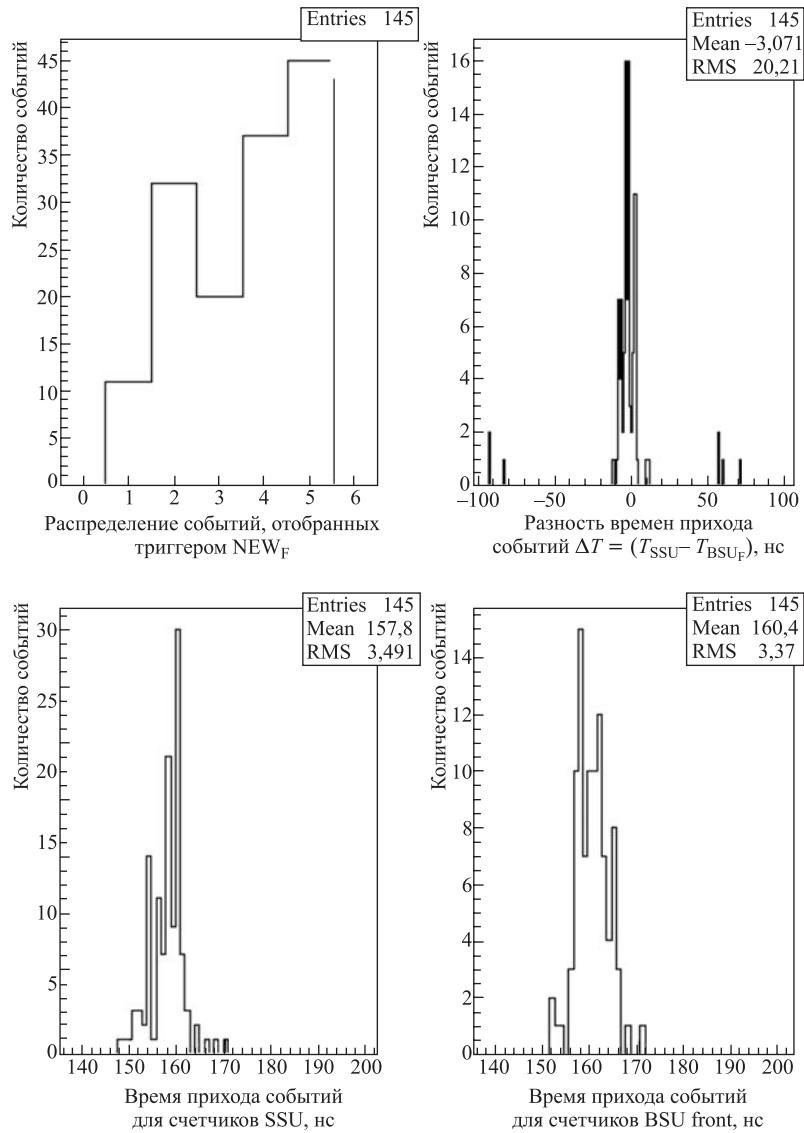


Рис. 11. Распределение событий для пар счетчиков SSU &  $BSU_F$ , времен прихода событий для счетчиков SSU и  $BSU_F$  и разности времен прихода событий  $\Delta T = (T_{SSU} - T_{BSU_F})$ , отобранных триггером  $NEW_F$

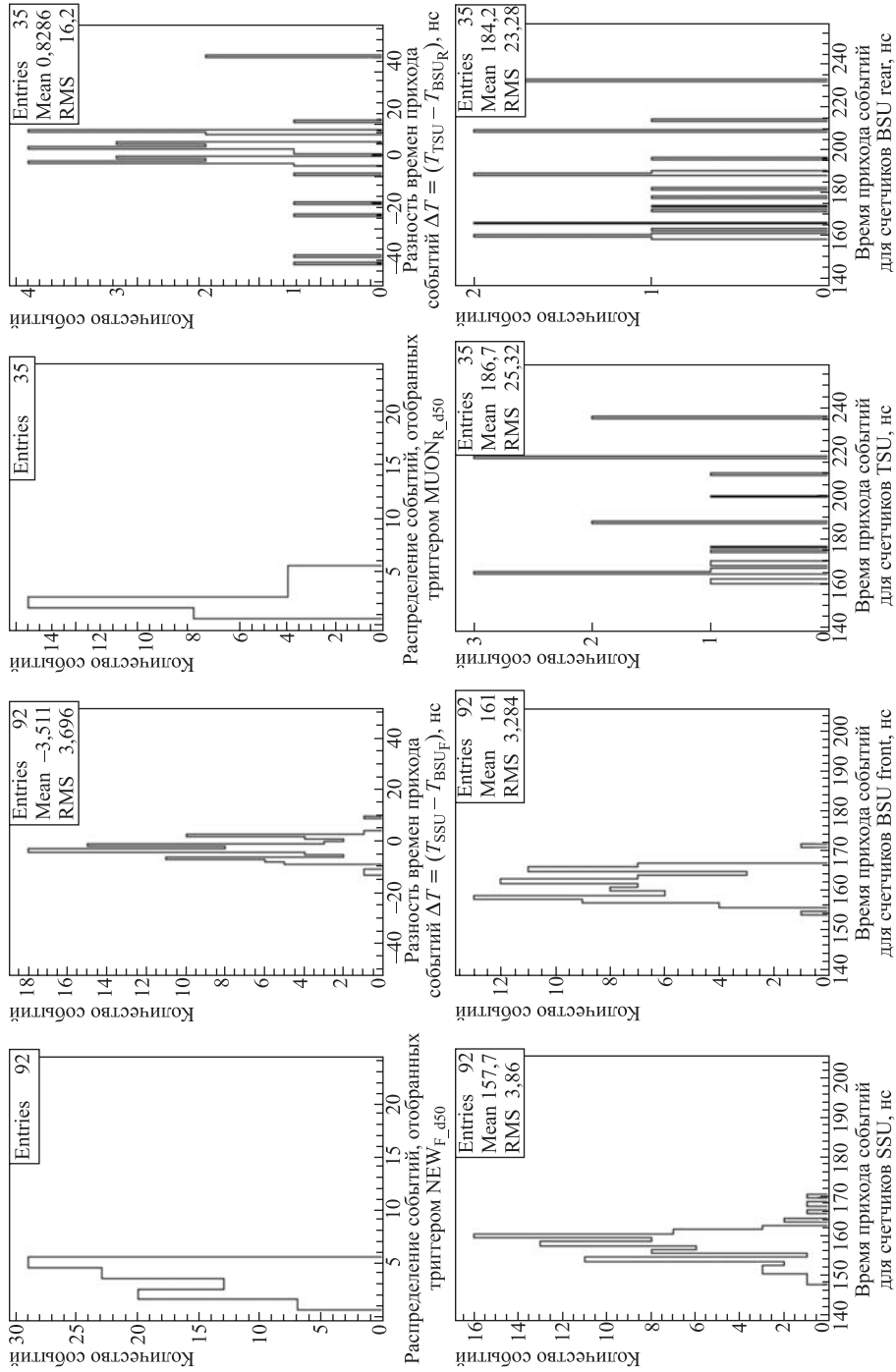


Рис. 12. Распределение событий для каждой пары счетчиков ( $SSU$  &  $BSU_F$  и  $TSU$  &  $BSU_R$ ), времен прихода событий для счетчиков  $SSU$ ,  $TSU$ ,  $BSU_F$  и  $BSU_R$  и разности времен прихода событий  $\Delta T = (T_{SSU} - T_{BSU_F})$  и  $\Delta T = (T_{TSU} - T_{BSU_R})$ , отобранных с помощью триггеров  $NEW\_F\_d50$  и  $MUON\_R\_d50$

На рис. 11 показано распределение событий для пар счетчиков SSU и BSU<sub>F</sub>, времен прихода событий для счетчиков SSU и BSU<sub>F</sub> и распределение разности времен прихода событий  $\Delta T = (T_{SSU} - T_{BSU_F})$ , отобранных с помощью предлагаемого нами триггера NEW<sub>F</sub> для области IMU  $1,0 < |\eta| < 1,25$ . Положение пиков в распределении времен прихода сигналов для счетчиков BSU<sub>F</sub> и SSU сохранилось, как прежде, но они более четко выделяются из фона. Отметим дальнейшее (почти четырехкратное) по отношению к триггеру MUON<sub>F</sub> падение количества отобранных событий до 145, что практически эквивалентно числу событий, отобранных ныне действующим триггером MUON<sub>R</sub> для области IMU  $1,25 < |\eta| < 1,5$  — 134 (табл. 4).

Для предлагаемого триггера NEW<sub>F</sub> ( $1,0 < |\eta| < 1,25$ ) и действующего для области IMU  $1,25 < |\eta| < 1,5$  триггера MUON<sub>R</sub> также было применено 50-нс обрезание. На рис. 12 показано распределение событий для каждой пары счетчиков (SSU, BSU<sub>F</sub> и TSU, BSU<sub>R</sub>), времен прихода событий для счетчиков SSU, TSU, BSU<sub>F</sub> и BSU<sub>R</sub> и разности времен прихода событий  $\Delta T = (T_{SSU} - T_{BSU_F})$  и  $\Delta T = (T_{TSU} - T_{BSU_R})$ , отобранных с помощью триггеров NEW<sub>F,d50</sub> и MUON<sub>R,d50</sub>.

Можно констатировать, что в распределениях времен прихода сигналов для счетчиков BSU<sub>F</sub> и SSU остались только мюонные пики при практически полностью подавленном фоне. Также отметим почти шестикратное падение количества отобранных триггером NEW<sub>F,d50</sub> событий (92) в сравнении с событиями, отобранными триггером MUON<sub>F</sub> (541).

## ВЫВОДЫ

Нами были изготовлены и исследованы шесть прототипов сцинтилляционных счетчиков SSU, пять из которых были расположены на установке CDF для изучения частоты срабатывания триггера.

Было проанализировано около 1000000 событий (a-stream, «сырых» данных), собранных с мая по июнь 2005 г., с целью исследовать падение частоты срабатывания мюонного триггера для области  $1,0 < |\eta| < 1,25$  после включения в него второго слоя сцинтилляционных счетчиков. Основные результаты обработки для разных триггеров сведены нами в табл. 4.

Можно видеть ожидаемую тенденцию уменьшения общего (фон + полезные события) числа событий по мере возрастания числа систем детекторов, задействованных в триггере, а также по мере ужесточения условий отбора по времени.

Необходимо отметить, что триггер ISU<sub>F,d50</sub>, т. е. «чисто» сцинтилляционный триггер позволяет получить такое же количество отобранных событий, что отбирается триггером MUON<sub>F</sub>, являющимся «чисто» мюонной частью действовавшего до февраля 2006 г. IMU триггера L1 в области  $1,0 < |\eta| < 1,25$ .

Добавление счетчиков SSU к триггеру MUON<sub>F</sub> уменьшило частоту срабатывания образовавшегося нового триггера NEW<sub>F</sub> более чем в три раза, при этом частота счета становится практически равной частоте счета действующего мюонного триггера L1 для области  $1,25 < |\eta| < 1,5$ . Представляется, что добавление дополнительного слоя сцинтилляционных счетчиков в области  $1,0 < |\eta| < 1,25$  позволит достичь частоты срабатывания мюонного триггера L1 для области  $1,0 < |\eta| < 1,5$  до приемлемого на CDF уровня, не более 1 кГц.



В случае повышения частоты триггера с дальнейшим ростом светимости тэватрона можно применить 50-нс обрезание, которое позволит уменьшить частоту триггера дополнительно более 1,5 раз.

Полученный результат дает возможность коллаборации CDF, установив дополнительный слой сцинтилляционных счетчиков SSU в области IMU  $1,0 < |\eta| < 1,25$ , получить приемлемый уровень частоты срабатывания мюонного триггера L1 в области  $1,0 < |\eta| < 1,5$  —  $\leq 1$  кГц.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность Ю. А. Будагову, В. В. Глаголеву, И. Е. Чирикову-Зорину за полезные дискуссии и ценные замечания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *The CDF II Collab.* The CDF II Detector Technical Design Report. Fermilab-Pub-96/390-E. 1996.
2. *Artikov A. et al.* Design and Construction of New Central and Forward Muon Counters for CDF II // Nucl. Instr. Meth. A. 2005. V. 538. P. 358–371.
3. *Artikov A. et al.* Long Muon Scintillation Counters with Wavelength Shifter Fiber Readout for CDF II // Письма в ЭЧАЯ. 2006. Т. 3, № 3(132). С. 81–102.
4. *Ginsburg C. M. et al.* CDF Intermediate Muon Trigger. CDF Note 7694. 2005.
5. *CDF Run2 Data Bases Queryer and Browser.* CDF Run2 Triggers and Filters Report Group Triggers and Bits on CDF Online Production Report — Physics Table PHYSICS\_3\_09\_v-1. <http://cdfdbb.fnal.gov:8520/cdfr2/>
6. *CDF Run2 Data Bases Queryer and Browser.* CDF Run2 Triggers and Filters Report Group Triggers and Bits on CDF Online Production Report — Physics Table PHYSICS\_4\_01\_v-2. <http://cdfdbb.fnal.gov:8520/cdfr2/>
7. *Artikov A. et al.* On the Aging of the CSP Wall and CSX Scintillator Counters. CDF Note 7033. 2005.
8. *Bellamy E. H. et al.* Absolute Calibration and Monitoring of a Spectrometric Channel Using a Photomultiplier // Nucl. Instr. Meth. A. 1994. V. 339. P. 468–476.
9. *Bellamy E. H. et al.* Test of Long Scintillation Counters for Large Supercollider Detectors // Ibid. V. 343. P. 484–488.
10. *Tokar S. et al.* Single Photoelectron Spectra Analysis for the Metal Dynode Photomultiplier // Acta Phys. Univ. Comeniana. 1999. V. 40. P. 114.
11. *Pukhov O. et al.* Automatization of the Monitoring and Control of the Muon Scintillation Counters at CDF II // Письма в ЭЧАЯ. 2002. № 5[114]. С. 72–81.
12. *Bromberg C. et al.* A System to Control the Hamamatsu H5783 PMT Module and Condition Signals for TDC Readout. CDF Note 4990. 1999.
13. *Kowalkowski J. et al.* CDF Run II Data File Catalog // Intern. Conf. on Computing in High Energy and Nuclear Physics, Beijing, 2001. 4-037.

188 *Артиков А. и др.*

14. *Calafiura P. et al.* The CDF Run II Data Catalog and Data Access Modules // SiteSeer. IST. Scientific Literature Digital Library. 2000. <http://chep2000.pd.infn.it/paper/pap-c367.pdf>
15. *Litvintsev D. O.* Fermilab Computing Division. The CDF Data-File Catalog. CDF Note 5983. 2002.
16. *Unel M. K., Tesarek R. J.* Beam Halo Monitoring at CDF // Nucl. Instr. Meth. A. 2003. V. 506. P. 7–19.

Получено 16 апреля 2007 г.